

Análisis de monitoreo del agua en los afluentes al embalse de Bucaramanga, Santander.

Brayham Mauricio Vargas Otero

Carlos Nelson Melgarejo Niño

Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Civil

Director

Andrés Almeyda Ortiz

Ing. Msc en Explotación de Presas

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2017

Dedicatoria

Quiero agradecer especialmente a Dios por darme la oportunidad de culminar esta etapa tan importante de mi vida. A mi familia por su amor, apoyo incondicional y por ser los guías de mi vida durante este proceso tan importante de formación. A mis compañeros y amigos por hacer esta etapa más alegre, entretenida, y finalmente agradezco a mis profesores por su colaboración, por brindarme su conocimiento, por su entrega y paciencia para la realización de este proyecto.

Carlos Nelson Melgarejo Niño

Agradecimientos

Los autores de la presente tesis de investigación agradecen al Ing. Msc Andrés Almeyda Ortiz quien, en su calidad de director de trabajo de grado, brindo su asesoría, colaboración y tiempo en el proceso de desarrollo del proyecto desde su fase inicial hasta su culminación. Además, reconocen el aporte del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga (amb S.A E.S.P) por facilitar la información necesaria para la realización de la investigación.

Tabla de contenido

	Pág.
Introducción	14
1. Objetivos	16
1.1 Objetivo General	16
1.2 Objetivos Específicos.....	16
2. Zona de Estudio	17
2.1 Rio tona.....	18
3. Metodología	19
3.1 Adquisición, y organización de la información.	21
3.2 Estaciones de monitoreo.	21
3.3 Datos de análisis de calidad del agua.....	24
3.4 Creación base de datos.....	26
3.5 Verificación de cumplimiento de normativa de calidad de agua.	30
3.6 Comparaciones estadísticas	32
3.6.1 Depuración.....	32
3.6.2 Estadística descriptiva.....	33
3.6.3 Índices de calidad de agua (ICA).....	33
3.6.3.1 Sólidos suspendidos totales (SST).....	35
3.6.3.2 Demanda química de oxígeno (DQO).	35
3.6.3.3 Conductividad eléctrica (C.E.).....	35

3.6.3.4 pH.....	36
3.6.3.5 Nitrógeno total/fosforo total (NT/PT).....	36
3.6.4 Índices de contaminación de agua (ICO'S)	37
3.6.5 Índice de contaminación por minerales (ICOMI).....	38
3.6.6 Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO)	39
3.6.7 Índice de contaminación por Sólidos Suspendidos (ICOSUS).....	39
3.6.8 Índice de contaminación trófico (ICOTRO)	40
4. Resultados	40
4.1 Comparaciones estadísticas	40
4.2 Depuración	41
4.3 Verificación de cumplimiento de normativa de calidad de agua.	42
4.4 Índice de calidad de agua:.....	42
4.5 Índices de Contaminación ICO'S	46
5. Conclusiones.....	49
6. Recomendaciones	50
Citas Bibliográficas.....	51
Referencias Bibliográficas	54

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Mapa ubicación afluentes al embalse de Bucaramanga, Santander	19
Figura 2. Metodología desarrollo trabajo de investigación	20
Figura 3. Ubicación puntos de monitoreo de monitoreo afluentes al embalse de Bucaramanga.	23
Figura 4. Diagrama de flujo macro base de datos.....	28
Figura 5. Valores de DQO en afluentes	42
Figura 6. Análisis ICA en la Quebrada Ranas.	43
Figura 7. Análisis ICA Rio Tona.	44
Figura 8. Análisis ICA Quebrada Gualilo.....	44
Figura 9. Análisis ICA Quebrada la Reforma.....	45

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Características generales Quebradas afluentes al embalse de Bucaramanga.	18
Tabla 2. Series de datos de las estaciones de monitoreo.....	22
Tabla 3. Estaciones de monitoreo.	23
Tabla 4. Parámetros fisicoquímicos de calidad de agua Embalse de Bucaramanga.....	24
Tabla 5. Parámetros microbiológicos de calidad de agua Embalse de Bucaramanga	25
Tabla 6. Normativa de calidad de agua.....	31
Tabla 7. Calificación de la calidad del agua según los valores que tome el ICA	37
Tabla 8. Intervalos de contaminación	38
Tabla 9. Calificación índice de contaminación trófica (ICOTRO).....	40
Tabla 10. Análisis ICA de los afluentes al embalse de Bucaramanga.....	45
Tabla 11. Análisis ICO'S de los afluentes al embalse de Bucaramanga	46
Tabla 12. Análisis ICO'S de los afluentes al embalse de Bucaramanga	47

Lista de Apéndices

Apéndice A. Resultados análisis quebrada la reforma.

Apéndice B. Resultados análisis Quebrada Gualilo.

Apéndice C. Resultado análisis Quebrada Ranas.

Apéndice D. Resultado análisis Rio Toná.

Apéndice E. Base de datos.

Apéndice F. Análisis de estadística descriptiva.

RESUMEN

TÍTULO: ANÁLISIS DE MONITOREO DEL AGUA EN LOS AFLUENTES AL EMBALSE DE BUCARAMANGA, SANTANDER*.

AUTORES: BRAYHAM MAURICIO VARGAS OTERO
CARLOS NELSON MELGAREJO NIÑO**

PALABRAS CLAVES: Calidad de agua, afluentes, base de datos y comparaciones estadísticas.

DESCRIPCIÓN:

El monitoreo de calidad de agua requiere de un análisis detallado debido a la importancia que posee en la salud pública. En este trabajo de investigación se analizan los resultados de los monitoreos fisicoquímicos y microbiológicos realizados por el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga (amb S.A E.S. P) a los afluentes del embalse de Bucaramanga, como lo son: quebrada La Reforma, quebrada Gualilo, quebrada Monos, quebrada Ranas y el río Toná. Para este análisis se tomaron datos de cada una de las estaciones donde se monitorean los afluentes, donde se verificó el estado de operación de la estación (activa o inactiva). Teniendo los análisis verificados se creó una base de datos en el software Excel, la cual permite almacenar los resultados de laboratorio y examinar el cumplimiento de la normativa nacional vigente. Basados en los resultados proporcionados por la base de datos se hicieron comparaciones estadísticas que permiten evidenciar los cambios que han venido presentando los afluentes después de la construcción y llenado del Embalse de Bucaramanga, Santander además de los aportes a las propiedades del cuerpo de agua del embalse y conocer el grado de contaminación que presentan, mediante análisis ICA e ICO'S para establecer de esta forma, si el recurso hídrico es apto para captación y posterior tratamiento convencional de potabilización.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánica. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Andrés Almeyda Ortiz

ABSTRACT

TITLE: ANALYSIS OF WATER MONITORING IN THE AFLUENTS OF THE EMBALSE OF BUCARAMANGA, SANTANDER*

AUTHORS: BRAYHAM MAURICIO VARGAS OTERO
CARLOS NELSON MELGAREJO NIÑO**

KEYWORDS: Water quality, tributaries, database, statistical comparisons.

DESCRIPTION:

To monitor water quality a detailed analysis is required due to the importance for public health. In this research, the results of the physicochemical and microbiological monitoring carried out by the Metropolitan Aqueduct of Bucaramanga (amb SA ES P) to the tributaries of the reservoir of Bucaramanga, at they are: streams La Reforma, Gualilo, Monos, Ranas and the Tona river). Data were gathered from each of the stations where the tributaries were monitored, and the state of operation of the station (active or inactive) was also verified. After having all these analyzes, a database in Excel software was created, which allows to store of the laboratory results and examine compliance with current national regulations. Based on the results from due to the database, statistical comparisons were made to highlight the changes presented by the tributaries in the construction phase and during the filling of the Bucaramanga Reservoir. In addition, this study helps to understand the properties of the water station the reservoir and also to identify the existing contamination level, through analysis ICA and ICO'S and in this way to establish whether the water resource is suitable for drinking and the subsequent conventional purification treatment.

* Degree work.

** Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Civil Engineering. Director: Andrés Almeйда Ortiz

Introducción

La calidad del agua está ligada al proceso salud-enfermedad por eso es importante realizar monitoreos continuos en el agua natural y sistema de agua potable que permitan conocer su condición. En la gestión de los recursos hídricos, la calidad del agua es uno de los aspectos más importantes que se debe tener en cuenta para los diferentes usos establecidos en el territorio nacional. Se busca conservar y proteger la calidad de las aguas subterráneas y superficiales de los efectos de fuentes contaminantes y del cambio climático, con la finalidad de establecer un equilibrio del ecosistema, considerándose a éste como indicador de la calidad óptima del recurso, beneficiándose al ambiente y a la salud pública [1].

El análisis de la información, indica las alteraciones que se producen en los cuerpos de agua que drenan al embalse, por eventos asociados a la variabilidad climática y la actividad agrícola que se realiza en sectores aledaños a los cauces, generando efectos negativos en las propiedades del recurso hídrico.

Debido a la importancia que posee, conocer el grado de contaminación que tienen los efluentes del embalse, este trabajo de investigación se basó en la creación de una base de datos que permite verificar el cumplimiento de la reglamentación que rige en el país, para evaluar así cada una de las propiedades que posee el agua, además se realizó un análisis estadístico que permite conocer la variación que han presentado las propiedades de los cuerpos de agua de los afluentes después de la construcción y puesta en operación del embalse de Bucaramanga. Además, mediante el análisis

de calidad de agua propuesto por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

- IDEAM se analizaron los indicadores de contaminación de los afluentes.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Evaluar la calidad fisicoquímica y microbiológica de los cuerpos de agua que drenan al embalse de Bucaramanga como lo son: la quebrada la Reforma, Ranas, Gualilo, Los Monos y el río Toná.

1.2 Objetivos Específicos

- Crear una base de datos que permita evaluar la calidad fisicoquímica y microbiológica de los cuerpos de agua que surten el embalse.
- Analizar los parámetros evaluados mediante comparaciones estadísticas que permitan determinar el cambio en las características de los cuerpos de agua a partir de la construcción y operación del proyecto.

2. Zona de Estudio

La zona de estudio comprende las subcuencas de los ríos Surata y Toná, ubicadas al norte de la ciudad de Bucaramanga.

La subcuenca Suratá forma parte de la Cuenca superior del Río Lebrija, y posee una extensión total de 372.759 hectáreas. En aspectos climáticos, tiene una tendencia bimodal, con dos periodos lluviosos (Marzo – Mayo y Septiembre – Noviembre) y dos secos (Diciembre- febrero y Junio – Agosto). El rango de variación de la temperatura instantánea se estima entre valores muy cercanos a 5 y 35° C. Esta cuenca hidrográfica abastece de agua al Área Metropolitana de Bucaramanga. La red hidrológica de la subcuenca del Río Suratá está conformada por cinco corrientes tributarias: Río Vetas, Río Suratá Alto, Río Charta, Río Toná y Río Suratá. [2]

La subcuenca del río Toná se encuentra ubicada en la cordillera Oriental, al noreste de la ciudad de Bucaramanga con un área de 193,81 km². La subcuenca hidrográfica pertenece a la gran cuenca del río Lebrija, con 8.200 km² de área de drenaje. Sus afluentes principales son las quebradas Golondrinas, Arnania y Carrizal. [3]

Para el desarrollo del proyecto de investigación, se tomaron 5 afluentes al embalse de Bucaramanga, 4 quebradas y un río, que son las principales fuentes de abastecimiento que actualmente presenta el embalse de Bucaramanga y siendo este de gran importancia porque abastecerá a los habitantes de gran parte del área Metropolitana de Bucaramanga. Por lo tanto, es necesario evaluar mediante indicadores de calidad, el grado de contaminación que tienen estos efluentes, para de esta forma tomar medidas correctivas a los efectos que ocasionan la alteración del recurso hídrico.

En la Tabla 1 se muestran las características generales de las quebradas evaluadas en desarrollo del proyecto de investigación.

Tabla 1.

Características generales Quebradas afluentes al embalse de Bucaramanga.

Afluente	Longitud	Cota		Pendiente promedio	Dirección drenaje
		Inicio	Fin		
Quebrada Gualilo	1,42 KM	1318 msnm	890 msnm	30,40%	SW-NE
Quebrada Ranas	2,49 KM	1520 msnm	890 msnm	24,80%	SW-NE
Quebrada Reforma	1,66 KM	1422 msnm	916 msnm	30,20%	SW-NE
Quebrada Monos	2,27 KM	1610 msnm	860 msnm	33%	NE-SW

Fuente: Datos Acueducto Metropolitano de Bucaramanga (amb S.A E.S.P)

2.1 Río tona

El río Tona tiene una longitud de 28.26 km desde su nacimiento al noreste de la cabecera municipal de Tona, en la cota 3800 msnm, hasta la desembocadura en el río Suratá en la cota 800 msnm aproximadamente. La dirección del drenaje principal es NE – SW. Los principales cuerpos de agua en la subcuenca del río Tona son los siguientes: quebradas El Peñón, Los Arcos, Río Sucio, Lúcura, Vegas del Quemado, Arnania, El Aburrido, Montecristo y Golondrinas[3].

En la Figura 1 se muestra el mapa de la red hidrográfica, donde se pueden observar los afluentes al embalse. (Quebradas Gualilo, Ranas, Reforma, y del río Tona).

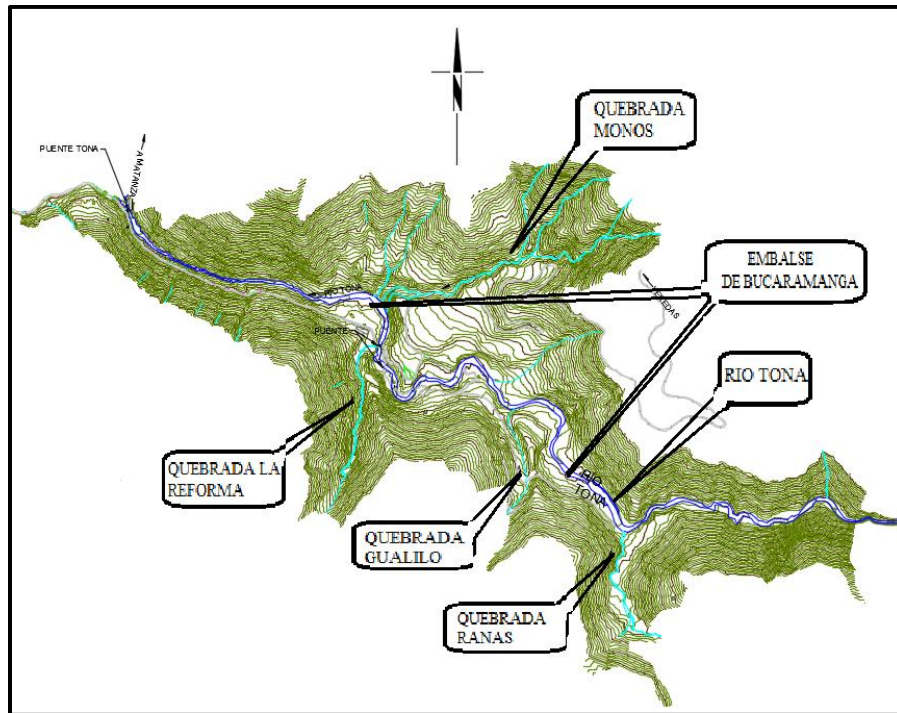


Figura 1. Mapa ubicación afluentes al embalse de Bucaramanga, Santander

Fuente: Acueducto Metropolitano de Bucaramanga (amb S.A E.S.P)

3. Metodología

La metodología utilizada en el desarrollo del proyecto, en su primera fase se basó en recolectar los datos de resultados fisicoquímicos y microbiológicos del agua en los afluentes al embalse de Bucaramanga, Santander datos que presentan un periodo de análisis de 18 meses, con un lapso de un mes entre los análisis. En la segunda fase se realizó la verificación del estado de la actividad de las estaciones (activa e inactiva). En la tercera fase se elaboró la base de datos teniendo en cuenta los parámetros evaluados por el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A E.S.P. En

la cuarta fase, se verifico el cumplimiento de la normativa nacional en cuanto a calidad de agua se refiere (Decreto 1594/84). En la quinta fase se realizaron comparaciones estadísticas con los resultados de los análisis de cada parámetro evaluado. En la sexta fase se revisó la variación que han presentado los afluentes mediante el análisis de los índices de calidad de agua. Finalmente, en la séptima fase se formularon conclusiones sobre la problemática evidenciada en algunos afluentes. En la Figura 2 se muestra en resumen el proceso metodológico utilizado para el desarrollo de la investigación.

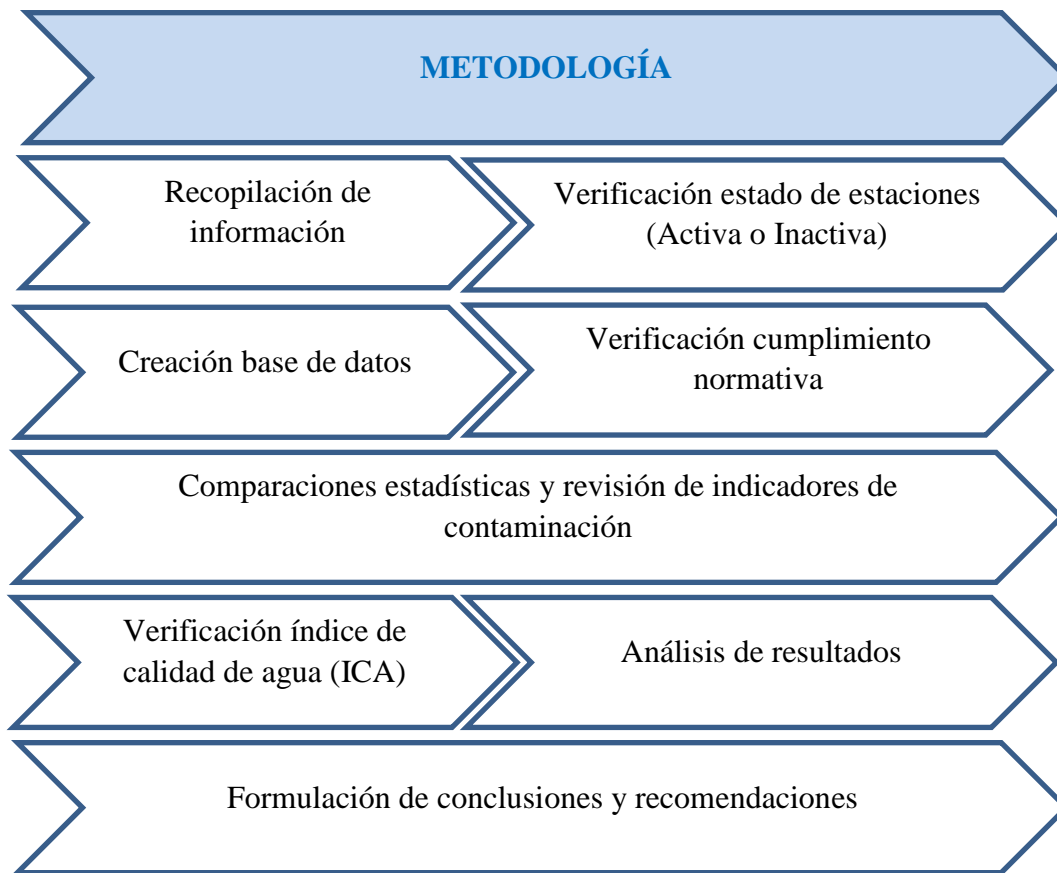


Figura 2. Metodología desarrollo trabajo de investigación

3.1 Adquisición, y organización de la información.

Para el trabajo de investigación se realizó la recopilación y organización de los datos de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de los afluentes al embalse de Bucaramanga, que para nuestro caso serán las quebradas Gualilo, Reforma, Monos y Ranas, además del río Toná, ubicados en el departamento de Santander. Monitoreo realizado en la respectiva estación ubicada en la entrada de cada afluente al embalse, operada por el acueducto metropolitano de Bucaramanga S.A E.S.P.

Los Apéndices A, B, C, y D contienen los resultados de laboratorio de análisis fisicoquímicos y microbiológicos realizados a los afluentes al embalse de Bucaramanga.

3.2 Estaciones de monitoreo.

La estación de monitoreo de la calidad de los cuerpos de agua, se han convertido principales ejes de regulaciones ambientales y de conciencia ambiental, pues por medio de ellas podemos acceder a información de las propiedades y composición de estos cuerpos [5].

Para el caso de estudio se buscaron los resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos realizados por el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga (amb S.A E.S. P) a los afluentes al embalse de Bucaramanga, donde se accedió a esta información a través de datos suministrados por la entidad.

Teniendo la información se adelantó un proceso de revisión y verificación de los meses en los que se habían realizado los análisis en las diferentes estaciones de monitoreo, periodo de análisis correspondiente a 2015 y 2016.

En la Tabla 2 se muestra las 5 estaciones escogidas que contienen información de análisis de calidad de agua de cada uno de los afluentes.

Tabla 2.

Series de datos de las estaciones de monitoreo.

Afluente	Entidad	Número de meses con registro
QUEBRADA GUALILO	amb S.A E.S.P	10
QUEBRADA MONOS	amb S.A E.S.P	0
QUEBRADA RANAS	amb S.A E.S.P	13
QUEBRADA REFORMA	amb S.A E.S.P	11
RIO TONA	amb S.A E.S.P	14

Fuente: Acueducto Metropolitano de Bucaramanga (amb S.A E.S.P)

Con el análisis realizado se descartó la estación que monitorea a la quebrada Monos, por no contar con información de este afluente, debido a que por factores climatológicos este afluente no posee caudal al cual se le puedan adelantar los diferentes análisis.

De esta forma, los afluentes para el desarrollo del proyecto se redujeron a 4, los cuales monitoreados por el amb. En la Tabla 3 se muestran las 4 estaciones y su localización que fueron analizadas en el proyecto de investigación.

Tabla 3.

Estaciones de monitoreo.

Afluente	Coordenadas		Elevación
	Latitud	Longitud	
Quebrada Gualilo	7° 8' 55.90'' N	73°4'59.41'' E	906 msnm
Quebrada Ranas	7° 8' 42.72'' N	73°4'45.05'' E	1010 msnm
Quebrada Reforma	7° 8' 58.68'' N	73°5'17.98'' E	907 msnm
Rio Tona	7° 5' 54.24'' N	73°4'22.40'' E	1036 msnm

Fuente: Acueducto Metropolitano de Bucaramanga (amb S.A E.S.P)

En la Figura 3 se muestra la ubicación de los puntos de monitoreo de los afluentes al embalse de Bucaramanga, Santander.



Figura 3. Ubicación puntos de monitoreo de monitoreo afluentes al embalse de Bucaramanga.

Fuente: amb S.A E.S. P

3.3 Datos de análisis de calidad del agua

El principal factor de riesgo para numerosas intoxicaciones e infecciones es el cambio de las propiedades del agua, siempre que ésta se encuentre alterada, mediante contaminación, en sus parámetros físicos, químicos o biológicos.

Dependiendo del uso que se le vaya a dar, es de máximo interés controlar analíticamente la calidad del agua. Pequeños cambios en la presencia de algunas sustancias pueden variar sensiblemente las propiedades del agua, hacerlas inservibles y hasta peligrosas para la salud [6].

Los datos de análisis de calidad del agua, son valores que permiten evidenciar el comportamiento en las propiedades de los cuerpos que abastecen a las poblaciones, con los cuales se busca garantizar la salud pública, y verificar las alteraciones que presentan los diferentes afluentes por eventos climatológicos o factores ambientales y agrícolas.

En las Tabla 4 y Tabla 5 se muestran los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos respectivamente analizados en la quebrada Reforma, Gualilo, Ranas y el río Tona, afluentes al embalse de Bucaramanga, Santander.

Tabla 4.

Parámetros fisicoquímicos de calidad de agua Embalse de Bucaramanga

Parámetros de análisis fisicoquímicos en cuerpos de agua de afluentes al Embalse de Bucaramanga, Santander.	
Color verdadero	Selenio total
Nitratos totales	pH
Mercurio	Cianuro libre
Plomo	Bario
Sulfatos	Plata

Parámetros de análisis fisicoquímicos en cuerpos de agua de afluentes al Embalse de Bucaramanga, Santander.	
Cromo total	Nitratos
Cloruros	Cadmio total
Nitritos	Cobre total
Arsénico total	

Fuente: amb S.A E.S.P

Tabla 5.

Parámetros microbiológicos de calidad de agua Embalse de Bucaramanga

Parámetros de análisis microbiológicos en cuerpos de agua de afluentes al Embalse de Bucaramanga, Santander.
Escherichia Coli
Coliformes totales
Recuento heterótrofo en placa

Fuente: amb S.A E.S.P

Las estaciones de monitoreo presentan el registró mensual de datos de los análisis de calidad de agua, tomados desde la fecha de instalación.

Teniendo en cuenta los parámetros evaluados por la entidad en las estaciones de monitoreo, se hizo una organización de la información, en el que se revisó el cumplimiento del decreto 1594/84.

El decreto 1594 de 1984 reglamentado por el gobierno nacional, se usa con el fin de hacer un seguimiento a las propiedades de los cuerpos de agua con los que se abastecen las poblaciones, para garantizar el uso adecuado y tratamiento de potabilización a causa de problemas que se estén presentando en el agua.

3.4 Creación base de datos.

Las bases de datos son el método preferido para el almacenamiento estructurado de datos. Desde las grandes aplicaciones multiusuario, hasta los teléfonos móviles y las agendas electrónicas utilizan tecnología de bases de datos para asegurar la integridad de los datos y facilitar la labor tanto de usuarios como de los programadores que las desarrollaron [7].

Desde la realización del primer modelo de datos, pasando por la administración del sistema gestor, hasta llegar al desarrollo de la aplicación, los conceptos y la tecnología asociados son muy heterogéneos. Sin embargo, es imprescindible conocer los aspectos clave de cada uno de estos temas para tener éxito en cualquier proyecto que implique trabajar con bases de datos [7].

Por esto con los datos de los resultados fisicoquímicos y microbiológicos de análisis del agua realizados por el amb S.A E.S.P y después de verificar que las estaciones donde se realizaron los análisis se encontraban activas, se continuó con la creación de la base de datos.

El software Excel que permite realizar gracias a sus funciones, desarrolladas específicamente para ayudar a crear y trabajar con hojas de cálculo, ajustadas a las necesidades de cada usuario. A grandes rasgos, las opciones son dos: crear fórmulas en las mismas celdas de la planilla en cuestión, o bien utilizar el módulo de desarrollo en Visual Basic [8].

Para la creación de base de datos se utilizó la interacción del software Excel con software Visual Basic, nos permitió mediante mecanismos de programación realizar un macro, siendo este un grupo de instrucciones programadas bajo entorno VBA (visual basic para aplicaciones), cuya tarea principal es la automatización de tareas repetitivas y la resolución de cálculos complejos [9].

Mediante funciones de programación registradas en el macro, la base de datos nos permitió almacenar los resultados de los análisis de calidad de agua realizados en cada una de las estaciones

desde su puesta en funcionamiento, generando una organización de los resultados que nos permite evidenciar los análisis de cada una de las estaciones de forma ordenada y, también permite mediante sus comandos tener acceso de forma ágil y hacer el análisis de cumplimiento de la normativa nacional de calidad de agua que rige cada uno de los parámetros evaluados en el laboratorio.

PROCESO DE CREACIÓN:

1. Abre el programa Microsoft Excel.
2. Habilitar la opción macros, siguiendo la ruta.

2.1 FILE

- 2.1.1 Options
- 2.1.2 Customize ribbon
- 2.1.3 Seleccionar la casilla developer.
- 2.1.4 Seleccionar la opción aceptar.

Una vez incorporada la función de macros a EXCEL se procede a incorporar la programación correspondiente al diagrama de flujo. En la figura 12 se muestra el diagrama de flujo correspondiente a la base de datos.

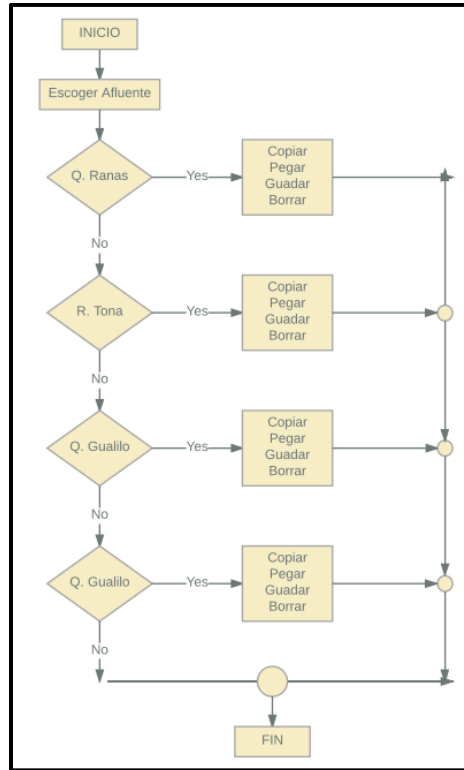


Figura 4. Diagrama de flujo macro base de datos.

Funcionamiento

Las casillas de programación correspondientes al macro, cumplen la función que se enuncia a continuación:

1. SOLICITUD NO.: Hace referencia al número de análisis adelantado y que se desea almacenar en la base de datos.
2. FECHA: Especifica el día en que se emitieron los resultados del laboratorio.
3. SOLICITANTE: Nombre de Persona o entidad que requiere los resultados del análisis adelantado por el laboratorio.
4. NOMBRE DE LA MUESTRA: Nombre del tipo de muestra a la que se le realizaran los respectivos análisis.

5. SITIO DE TOMA DE MUESTRA: Seleccionar el nombre del afluente en el que se adelantó el respectivo análisis.
6. MUESTRA TOMADA POR: Nombre del profesional encargado de realizar la toma de la muestra para análisis.
7. PLAN DE MUESTREO: Puntualiza el método adelantado en extracción de la muestra.
8. FECHA DE TOMA DE MUESTRA: Corresponde al día en que se realizó la toma de muestra en afluente.
9. FECHA DE RECEPCIÓN: Corresponde al día de recepción de la muestra por el personal del laboratorio encargado de adelantar los análisis.
10. COLUMNA DE PARÁMETROS: Enuncia los diferentes parámetros que se van a analizar en laboratorio a la muestra tomada en los afluentes.
11. COLUMNA DE NORMAS: Lista la norma utilizada en el análisis de cada parámetro analizado en el laboratorio.
12. COLUMNA DE MÉTODOS: enuncia el método correspondiente a cada parámetro para el respectivo análisis.
13. COLUMNA DE RESULTADOS: Datos numéricos de los resultados obtenidos de cada uno de los parámetros analizados en laboratorio.
14. COLUMNA DE UNIDADES: Lista las unidades correspondientes a cada uno de los parámetros analizados.
15. COLUMNA DE DECRETO 1594/84 ART 38: Enuncia los rangos y valores máximos permitidos en el decreto para dar un tratamiento convencional de potabilización al agua.
16. FECHA DE ENSAYO: Corresponde a la fecha en que se le realizó el respectivo análisis a cada uno de los parámetros evaluados.

17. FUNCIÓN GUARDAR DATOS: Nos permite almacenar la información consignada en el macro y la organiza en hojas de cálculo separadas para cada uno de los afluentes, permitiéndonos tener Acceso de forma ágil y ordenada a la información.

En el Apéndice E se muestra el macro en el software Excel para el análisis y almacenamiento de resultados de laboratorio.

3.5 Verificación de cumplimiento de normativa de calidad de agua.

El agua es uno de los bienes más importantes y escasos que tienen las personas alrededor del mundo, nuestro país no es una excepción; muchas de nuestras poblaciones se ven obligados a beber de fuentes cuya calidad deja mucho que desear y produce un sin fin de enfermedades a niños y adultos [10].

El Decreto 1594 de 1984¹ establece los criterios de calidad utilizados como base de decisión en el ordenamiento, asignación de usos al recurso y determinación de las características del agua para cada uso, estableciendo rangos y valores máximos de propiedades fisicoquímicas para captación y posterior potabilización del recurso hídrico.

Mediante esta normativa el gobierno nacional hace un seguimiento a los diferentes cuerpos de agua que abastecen las poblaciones, garantizando la calidad y verificando que el uso que se le está dando cumpla con los lineamientos para evitar afectaciones.

Debido a la importancia que posee hacer seguimiento al cumplimiento del Decreto 1594/84, en la base de datos se realizó la verificación al análisis de cada parámetro de calidad de agua evaluado

¹ Decreto 1594 de 1984, Decretado por el presidente de la Republica, reglamenta en cuanto a usos del agua y residuos líquidos.

en las estaciones de monitoreo de los afluentes al embalse de Bucaramanga, según el rango de valores límite designadas en esta normativa.

Para la verificación de cumplimiento de la normativa se basó en la programación realizada en el software Excel, la cual nos permite conocer que parámetros no están cumpliendo con la normativa y poder así conocer la posible problemática que se está presentando en cada uno de los afluentes.

En la Tabla 6 se muestra según el Decreto 1594/84 Art 38: Los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso humano y doméstico son los que se relacionan a continuación, e indican que para su potabilización se requiere solamente tratamiento convencional

Tabla 6.

Normativa de calidad de agua.

Parámetro	Unidades	Decreto 1594/84 Art 38
pH	Unidades de pH	5.0 – 9.0
Color verdadero	Unidades de Pt- Co	≤ 75
Cloruros	mg Cl ⁻ /L	250
Nitritos	mg NO ₂ /L	10
Nitratos	mg N/L	10
Cianuro libre	mg Fe/L	0.2
Mercurio	mg CN ⁻ /L	0.2
Bario	mg Hg/ L	1
Cobre	mg Ba/ L	1
Cromo total	mg Cu/L	0.05
Arsénico	mg Cr/L	0.05
Plomo	mg Pb/L	0.05
Plata	mg Ag / L	0.05

Parámetro	Unidades	Decreto 1594/84 Art 38
Cadmio	mg Cd / L	0.01
Selenio	mg Se /L	0.01
DQO	mg O ₂ /L	30
Sulfatos	mg SO ₄ ⁻²	400
Coliformes totales	NMP/100ml	20000
E. Coli	NMP/100ml	2000

Fuente: amb S.A E.S.P

3.6 Comparaciones estadísticas

Las comparaciones estadísticas nos permiten evidenciar la variación de las propiedades del agua que se ha presentado en los afluentes al embalse de Bucaramanga, desde la construcción y llenado de esta obra. Para evidenciar las características que se ha presentado en cada uno de los afluentes se realizó un procedimiento donde se seleccionaron los métodos.

Para las comparaciones estadísticas se utilizó la estadística descriptiva, la cual es utilizada para resumir los datos de tal forma que sea más simple analizarlos e interpretarlos. El análisis involucro el cálculo de medidas de tendencia central, medidas de dispersión. La distribución de frecuencias es una ordenación en forma de tabla de los datos de acuerdo a la clase o intervalo a que pertenece y con el número de veces que se repite, se representa con histogramas [11].

3.6.1 Depuración. Los valores atípicos (Outliers) son observaciones que no corresponden con el resto de los valores en el grupo de datos. Existen dos herramientas básicas para el reconocimiento de un valor atípico: las representaciones gráficas y las pruebas estadísticas [11].

Cuando hay múltiples valores atípicos en un grupo de datos, la investigación resulta más complicada, pero existen procedimientos de prueba para estos casos [12] [13].

Algunos valores atípicos son datos que no corresponden a los demás valores, a partir del programa MINITAB se realizó el reconocimiento de estos mediante el Diagrama de caja y bigotes.

3.6.2 Estadística descriptiva La estadística descriptiva que recolecta, analiza y caracteriza un conjunto de datos, con el objetivo de describir las características y comportamientos de este conjunto mediante medidas de resumen, tablas o gráficos [14].

Para conocer la variación que han venido presentando los afluentes al embalse, se adelantó un análisis de estadística descriptiva con los resultados de laboratorio proporcionados por el amb S.A. E.S.P. Este análisis al no contar con una cantidad mayor a 11 datos, los resultados obtenidos no cuentan con un porcentaje de confianza alto.

En el Apéndice F, se evidencian los análisis de estadística descriptiva realizados a cada uno de los parámetros de calidad de agua evaluados por el laboratorio.

3.6.3 Índices de calidad de agua (ICA) El índice de calidad de agua tiene como propósito simplificar en una expresión numérica las características positivas o negativas de cualquier fuente de agua. Los ICA tienen como objeto la estimación de un número generalmente entre 0 y 1, que define el grado de calidad de un recurso hídrico. Con ello se pretenden reconocer, de una forma ágil y fácil, problemas de contaminación, sin tener que recurrir a la observación de cada una de las numerosas variables fisicoquímicas determinadas. Las bondades resultan mayores cuando se evalúa una cantidad amplia de cursos hídricos, o incluso, si solo se observa uno, pero en forma periódica. [15]

El amb, para la clasificación y determinación de los índices de calidad de agua se basa en la metodología planteada por el IDEAM para conocer el indicador de calidad que presenta el cuerpo de agua analizado. Para el desarrollo de este análisis se toman los resultados obtenidos de análisis de los parámetros:

- Oxígeno Disuelto (OD)
- Sólidos suspendidos totales (SST).
- Demanda química de oxígeno (DQO).
- Conductividad eléctrica (C.E.).
- pH.
- Nitrógeno Total/Fosforo Total. (N/P)

Para determinar el ICA del embalse de Bucaramanga se toma, la fórmula:

$$\text{ICA} = 0.17 * \text{SST} + 0.17 * \text{DQO} + 0.17 * \text{C E} + 0.15 * \text{PH} + 0.17 * \text{N/P} + 0.17 * \text{OD}$$

Al no contar con valores del parámetro oxígeno disuelto, el IDEAM plantea unas modificaciones en los porcentajes que lleva cada subíndice, obteniendo la fórmula:

$$\text{ICA} = 0.20 * \text{SST} + 0.20 * \text{DQO} + 0.20 * \text{C E} + 0.20 * \text{PH} + 0.20 * \text{N/P}$$

Para determinar el índice de cada uno de los parámetros se toma como base el resultado de análisis de cada parámetro.

Los índices de calidad de agua que aporta cada uno de los parámetros son calculados por la metodología planteada por el IDEAM, estos valores se calculan:

3.6.3.1 Sólidos suspendidos totales (SST). El subíndice de calidad para sólidos suspendidos (I_{SST}) se calcula:

Si:

$$SST > 320; \quad I_{SST} = 0$$

$$SST < 4.5; \quad I_{SST} = 1$$

Para el resto de resultados de los análisis el valor se calcula

$$I_{SST} = 1 - (-0,02 + 0,003 * SST)$$

3.6.3.2 Demanda química de oxígeno (DQO). El subíndice de calidad para Demanda química de oxígeno (I_{DQO}) se calcula:

Si:

$$DQO > 80 \quad I_{DQO} = 0.125$$

$$80 \geq DQO > 40 \quad I_{DQO} = 0.26$$

$$40 \geq DQO > 25 \quad I_{DQO} = 0.51$$

$$25 \geq DQO > 20 \quad I_{DQO} = 0.71$$

$$DQO \leq 20 \quad I_{DQO} = 0.91$$

Para el resto de resultados de los análisis el valor es: 0.91

3.6.3.3 Conductividad eléctrica (C.E.) El subíndice de calidad conductividad eléctrica (I_{CE}) se calcula:

$$I_{CE} = 1 - 10^{(-3,26 + 1,3 \text{ Log } 10 \text{ CE})}$$

Si:

$$CE < 0 \quad I_{CE} = 0$$

$$CE > 0$$

$$I_{CE} = CE$$

3.6.3.4 pH. Mide la acidez, valores extremos pueden afectar la flora y fauna

El subíndice de calidad PH (I_{PH}) se calcula:

Si:

$pH > 11$	$I_{PH} = 0.1$
$11 \geq pH > 8$	$I_{PH} = \text{EXP}(-(pH-8)*0,5187742)$
$8 \geq pH > 7$	$I_{PH} = 1$
$7 \geq pH \geq 4$	$I_{PH} = 0,02628419 * \text{EXP}(pH * 0,520025)$
$pH < 4$	$I_{PH} = 0.1$

3.6.3.5 Nitrógeno total/fosforo total (NT/PT) El subíndice de calidad para NT/PT ($I_{N/P}$) se calcula:

$NT/PT > 20$	$I_{N/P} = 0,15$
$20 \geq N/P > 15$	$I_{N/P} = 0,8$
$15 > N/P > 10$	$I_{N/P} = 0,6$
$10 \geq N/P > 5$	$I_{N/P} = 0,35$
$N/P < 5$	$I_{N/P} = 0,15$

Los valores optativos que puede llegar a tomar el indicador han sido clasificados en categorías, de acuerdo a ellos se califica la calidad del agua de las corrientes superficiales, al cual se le ha asociado un color como señal de alerta. En la siguiente tabla se registra la relación entre valores y calificación: [16]

Tabla 7.

Calificación de la calidad del agua según los valores que tome el ICA

Categorías de valores que pueden tomar el indicador	Clasificación de la calidad del agua	Color identificador señal de alerta.
0.00 – 0.25	Muy mala	Rojo
0.26 – 0.50	Mala	Naranja
0.51 – 0.70	Regular	Amarillo
0.71 – 0.90	Aceptable	Verde
0.91 – 1.00	Buena	Azul

Fuente: IDEAM

Con los indicadores de calidad de agua calculados para los afluentes al embalse de Bucaramanga, fueron clasificados según lo planteado por el IDEAM, con el fin de conocer la variación en calidad que ha venido presentando cada uno de ellos.

3.6.4 Índices de contaminación de agua (ICO'S): Los índices de contaminación (ICO) son de fácil estimación y permiten puntualizar el tipo de problema ambiental que existe de una forma más detallada que con el índice ICA. Los ICO'S se dividen en ICOMI, ICOMO, ICOSUS e ICOTRO, en la Tabla 8 se muestra la calificación para los ICO'S las cuales se definen en un rango de 0 a 1 y cada clasificación tiene un color respectivo, índices próximos a cero reflejan muy baja contaminación por mineralización e índices cercanos a 1, lo contrario, excepto el ICOTRO que tiene una calificación diferente como lo muestra la Tabla 9 [17].

En los resultados se explica de forma más detallada la clasificación ICOTRO.

Tabla 8.

Intervalos de contaminación

Clasificación	Intervalo
Ninguno	0.0 - 0.2
Bajo	0.2 - 0.4
Medio	0.4 - 0.6
Alto	0.6 - 0.8
Muy Alto	0.8 - 1.0

Fuente: Informe Anual de Calidad de agua 2015

3.6.5 Índice de contaminación por minerales (ICOMI) Se expresa en numerosas variables, de las cuales se eligieron: conductividad como reflejo del conjunto de sólidos disueltos, dureza por cuanto recoge los cationes calcio y magnesio, y alcalinidad porque hace lo propio con los aniones carbonates y bicarbonatos [17].

$$ICOMI= 1/3(IC_{Conductividad} + ID_{Dureza} + IA_{Alcalinidad})$$

Dónde:

$$I_{Conduct} = -3.26+1.34\log(\text{Conductividad. } [\mu\text{scm}])$$

Las conductividades mayores a 270 [$\mu\text{s/cm}$] tienen un índice de conductividad igual a 1

$$Dureza=-9.09+4.4\log(Dureza[\text{mg/l}])$$

Durezas mayores a 110 mg/l tienen un $ID_{Dureza} = 1$

Durezas menores a 30 mg/l tienen un $ID_{Dureza} = 0$

$$Alcalinidad=-0.24+0.005\log(Alcalinidad[\text{mg/l}])$$

Alcalinidad mayor a 250 [mg/l] tiene un $IA_{Alcalinidad} = 1$

Alcalinidad menor a 50 [mg/l] tiene un $I_{Alcalinidad} = 0$.

3.6.6 Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) Al igual que en la mineralización, se expresa en diferentes variables fisicoquímicas de las cuales se seleccionaron demanda bioquímica de oxígeno (DBO), coliformes totales y porcentaje de saturación del oxígeno, las cuales, en conjunto, recogen efectos distintos de la contaminación orgánica, tal como lo demuestra la ausencia de correlaciones entre ellas. [16]

$$\text{ICOMO} = 1/3(\text{IDBO} + \text{IColif.Totales} + \text{IOxígeno})$$

Dónde:

$$\text{IDBO} = -0.05 + 0.7 \log(\text{DBO}[\text{mg/l}])$$

DBO mayores a 30 [mg/l] tienen IDBO = 1

DBO menores a 2 [mg/l] tienen IDBO = 0

$$\text{IColif.Totales} = -1.44 + 0.56 \log(\text{Colif.Totales}[\text{NMP}/100\text{ml}])$$

Colif.Totales mayores a 20.000 [NMP/100ml] tienen IColif.Totales = 1

Colif.Totales menores a 500 [NMP/100ml] tienen IColif.Totales = 0

$$\text{IOxígeno}\% = 1 - 0.01(\text{Oxígeno}\%)$$

Oxígeno% mayores a 100 tienen un índice de oxígeno de 0

3.6.7 Índice de contaminación por Sólidos Suspendidos (ICOSUS) Se determina tan sólo mediante la concentración de sólidos suspendidos. Si bien esta variable observó alguna correlación de importancia con la demanda de oxígeno (DBO y DQO) y con el amonio, se desagregó de las anteriores por cuanto estas últimas corresponden con claridad a procesos de contaminación orgánica, mientras que los sólidos suspendidos bajo muchas circunstancias, podrían perfectamente hacer referencia tan sólo a compuestos inorgánicos [17].

$$\text{ICOSUS} = -0.02 + 0.03(\text{Sol. Suspendidos}[\text{mg/l}])$$

Sólidos Suspendidos mayores a 340 [mg/l] tienen ICOSUS=1

Sólidos Suspendidos menores a 10 [mg/L] tienen ICOSUS=0

3.6.8 Índice de contaminación trófico (ICOTRO) Se determina en esencia por la concentración de Fosforo Total, a diferencia de los índices anteriores, en los cuales se determina un valor particular entre 0 y1, la concentración de fósforo total se define por sí misma en una categoría, la cual se muestra en la siguiente tabla 9. [17]

Tabla 9.

Calificación índice de contaminación trófica (ICOTRO)

Clasificación	Intervalo
Oligotrófico	<0.01 [mg/l]
Mesotrófico	0.01-0.02 [mg/l]
Eutrófico	0.02-1.0 [mg/l]
Hipereutrófico	>1.0 [mg/l]

4. Resultados

4.1 Comparaciones estadísticas

Con los análisis de cajas y bigotes no se pudo establecer de manera clara el comportamiento que han venido presentando las propiedades de los afluentes al embalse de Bucaramanga, debido a la

escasa cantidad de datos que posee el acueducto, puesto que para obtener resultados que evidencien el comportamiento de los parámetros mediante este método se requieren de 50 datos o más.

El cálculo de los estadísticos descriptivos y análisis de frecuencias, comprendió el estudio de las variables fisicoquímicas y microbiológicas, con el objetivo de tener una imagen global y evaluar a grandes rasgos la variación de cada parámetro en los monitoreos adelantados por el amb S.A E.S.P en los afluentes al embalse de Bucaramanga.

Al contar con un máximo de 12 observaciones los estadísticos descriptivos no pueden arrojar datos con un grado de confianza alto, ya que no se cuenta con una amplia información. Además, no se pudo comparar las medias de tendencia central, estas se hacen basadas en las temporadas de lluvias y periodos secos donde se evidencia el cambio en los parámetros analizados.

4.2 Depuración

Al no tener más de 20 observaciones por parámetro no se puede reconocer que un valor es atípico, en la Figura 5 se observa que hay 3 valores que pueden ser atípicos, pero aún no se pueden descartar.

Demanda química de Oxígeno (DQO). Es un parámetro que mide la cantidad de sustancias disueltas o en suspensión susceptibles de ser oxidadas por medios químicos, se usa para medir el grado de contaminación. Según los análisis realizados por el amb SA ESP estos no tienen variación en todos los datos que se tomaron, en base al diagrama de caja se puede concluir que el afluente Gualilo tiene valores muy diferentes al resto de afluentes y presenta mayor contaminación como se puede observar en la Figura 5.

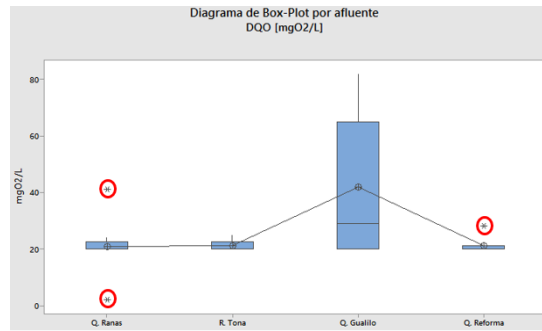


Figura 5. Valores de DQO en afluentes

4.3 Verificación de cumplimiento de normativa de calidad de agua.

Como ya se citó en apartados anteriores el cumplimiento de la normativa se hizo en base al cumplimiento del Decreto 1594/84, solo se tuvieron en cuenta aquellos parámetros que indican que para la potabilización se requiere solo tratamiento convencional de agua.

Durante los meses de marzo, abril, mayo, junio y julio, se observó que no se cumple el decreto en relación a los metales pesados (cromo, plomo y cadmio) en ninguno de los afluentes, esto nos puede indicar contaminación puntual de origen industrial o minero, aunque también puede indicar error en la toma de muestras o en el análisis de laboratorio.

4.4 Índice de calidad de agua:

Al no poseer mediciones del parámetro del oxígeno se hizo unas modificaciones en los porcentajes de los sub-índices a la hora de hallar el valor del ICA.

Los estados de contaminación del agua según los rangos establecidos por el IDEAM nos permiten evidenciar que en los puntos de monitoreo ubicados en cada uno de los afluentes al

embalse, según el índice de calidad de agua tiene valores que indican un estado de calidad de agua regular, ya que pueden estar afectados por aguas domésticas u otra forma de contaminación.

La quebrada Ranas como se observa en la Figura 6, se caracterizó por tener un índice de calidad de agua regular con una mejora de este índice en el último mes de medición a un índice de calidad aceptable debido al cambio de conductividad y la relación Nitrógeno/Fosforo.



Figura 6. Análisis ICA en la Quebrada Ranas.

En el río Tona la calidad de agua se ha caracterizado por presentar un índice de calidad regular debido al parámetro de la conductividad y pH como se puede evidenciar en la Figura 7. El ICA del río Tona presentó variaciones en diferentes medidas, en las que se ha evidenciado que, en el mes de marzo, su calidad bajó a mala debido a la presencia de sólidos suspendidos totales y además el indicador presenta recuperaciones durante el mes de septiembre debido a la relación de nitratos/fosforo y la disminución de sólidos suspendidos.

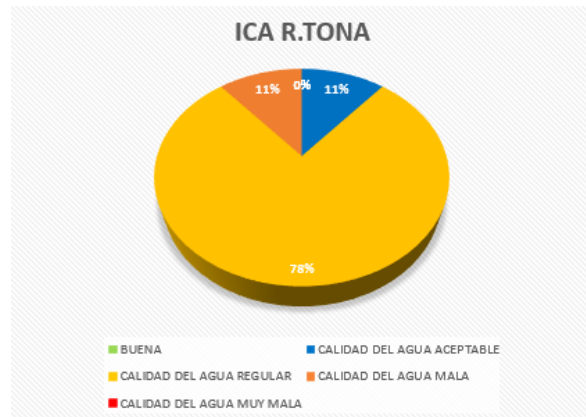


Figura 7. Análisis ICA Rio Tona.

De los afluentes al embalse el que presenta mayor problemática de contaminación es la quebrada el Gualilo, se observa en la Figura 8, donde en un 56% de las mediciones ha presentado una calidad mala, lo que se debe a los altos índices de DQO, la presencia alta de sólidos suspendidos y altos valores de conductividad, recomendando por lo tanto que el amb ponga en práctica estrategias de seguimiento para disminuir los niveles de contaminación que se han evidenciado y mejorar así la calidad de agua.

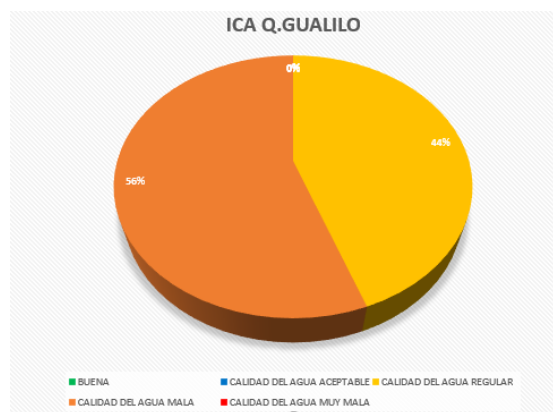


Figura 8. Análisis ICA Quebrada Gualilo

La quebrada la Reforma como se ve en la Figura 9, no presenta variación en su calidad de agua en ninguno de los meses, aunque se debe hacer seguimiento ya que algunos meses el índice de calidad de agua fue muy cercana al valor que indica malo, debido a la variación del DQO, Nitratos y Fosforo reactivo.

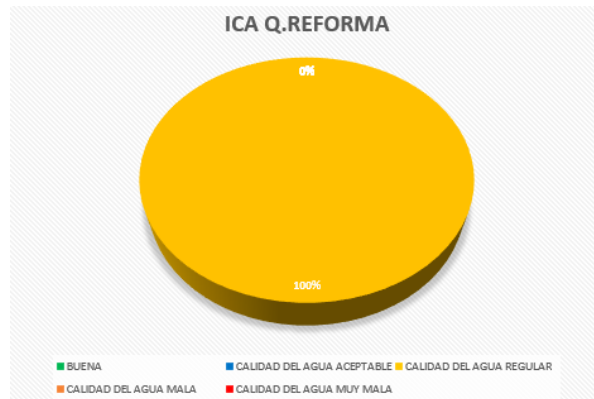


Figura 9. Análisis ICA Quebrada la Reforma.

Tabla 10.

Análisis ICA de los afluentes al embalse de Bucaramanga.

	Indice de Calidad de Agua				
	Quebrada Ranas	Rio Tona	Quebarada Gualilo	Quebarada Reforma	
Diciembre	0,64	0,57			
Enero	0,59	0,59	0,61	0,61	
Febrero	0,57	0,56	0,61	0,61	
Marzo	0,51	0,40	0,45	0,62	
Abril	0,63	0,59	0,43	0,55	
Mayo	0,67	0,62	0,58	0,58	
Junio	0,62	0,68	0,60	0,61	
Julio	0,64	0,70	0,41	0,65	
Agosto	0,60	0,56	0,28	0,58	
Septiembre	0,62	0,77	0,30	0,60	

- Muy Mala
- Mala
- Regular
- Aceptabe
- Buena

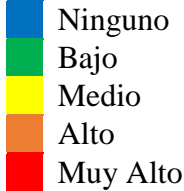
4.5 Índices de Contaminación ICO'S

Estos índices son medidos para poder determinar en qué parámetros específicos que presentan relación entre sí, se pueden presentar variaciones de la calidad del cuerpo de agua, sin embargo, al no tener valores del parámetro de oxígeno disuelto no se puede calcular el ICOMO y por falta del parámetro fosforo no se pudo calcular el ICOTRO en algunos meses.

En las tablas 11 y 12 muestra los resultados de los cuatro índices de contaminación ICO'S calculados con las variables medidas en cada uno de los puntos de muestreo, se presentan por mes y por punto, así como los colores establecidos para cada uno de los valores de los ICO'S teniendo en cuenta que el color indica el grado de contaminación del agua.

Tabla 11.

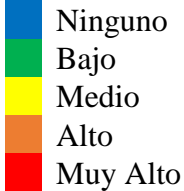
Análisis ICO'S de los afluentes al embalse de Bucaramanga

		ICOMI	ICOSUS	ICOTRO	
Diciembre	Q.Ranas	0,80	0,00	MESOTROPICO	
	R.Tona	0,77	0,00		
Enero	Q.Gualilo	0,92	0,00		
	Q.Ranas	0,81	0,00		
	R.Tona	0,46	0,00		
	Q.Reforma	0,90	0,00		
Febrero	Q.Gualilo	0,88	0,00		
	Q.Ranas	0,78	0,00		
	R.Tona	0,76	0,00		
	Q.Reforma	0,90	0,00		
Marzo	Q.Gualilo	0,85	0,16	EUTRÓFICO	
	Q.Ranas	0,53	0,00	EUTRÓFICO	
	R.Tona	0,47	0,86	EUTRÓFICO	
	Q.Reforma	0,80	0,00	EUTRÓFICO	
Abril	Q.Gualilo	0,86	0,71	EUTRÓFICO	
	Q.Ranas	0,33	0,03	EUTRÓFICO	
	R.Tona	0,35	0,46	EUTRÓFICO	

Mayo	Q.Reforma	0,81	0,01	
	Q.Gualilo	0,87	0,17	EUTRÓFICO
	Q.Ranas	0,47	0,00	EUTRÓFICO
	R.Tona	0,29	0,37	EUTRÓFICO
	Q.Reforma	0,85	0,00	EUTRÓFICO

Tabla 12.

Análisis ICO'S de los afluentes al embalse de Bucaramanga

		ICOMI	ICOSUS	ICOTRO	
Junio	Q.Gualilo	0,85	0,10	EUTRÓFICO	
	Q.Ranas	0,38	0,00	MESOTROPICO	
	R.Tona	0,69	0,00	MESOTROPICO	
	Q.Reforma	0,86	0,01	MESOTROPICO	
Julio	Q.Gualilo	0,77	0,25	EUTRÓFICO	
	Q.Ranas	0,53	0,00	EUTRÓFICO	
	R.Tona	0,72	0,09	MESOTROPICO	
	Q.Reforma	0,91	0,00	EUTRÓFICO	
Agosto	Q.Gualilo	0,92	1,00	EUTRÓFICO	
	Q.Ranas	0,52	0,00	EUTRÓFICO	
	R.Tona	0,49	0,00	EUTRÓFICO	
	Q.Reforma	0,62	0,01	EUTRÓFICO	
Septiembre	Q.Gualilo	0,90	0,87	EUTRÓFICO	
	Q.Ranas	0,39	0,01	EUTRÓFICO	
	R.Tona	0,25	0,02	MESOTROPICO	
	Q.Reforma	0,86	0,05	EUTRÓFICO	
Octubre	Q.Gualilo	0,86	0,00	EUTRÓFICO	
	Q.Ranas	0,74	0,00	EUTRÓFICO	
	R.Tona	0,72	0,08	EUTRÓFICO	
	Q.Reforma	0,90	0,00	EUTRÓFICO	
Noviembre	Q.Gualilo	0,81	0,00	EUTRÓFICO	
	Q.Ranas	0,45	0,00	EUTRÓFICO	
	R.Tona	0,39	0,02	MESOTROPICO	
	Q.Reforma	0,82	0,07	MESOTROPICO	

ICOMI

La conductividad, Alcalinidad y Dureza van de la mano, así que si estos datos entre si son elevados producirán un ICOMI elevado, la conductividad, alcalinidad y dureza tienen que ver con el arrastre de materiales o lixiviados, llevando sales como calcio y manganeso.

Se presenta contaminación en todos los afluentes, especialmente en la quebrada Gualilo y Reforma que presentan los valores más altos de este índice, la quebrada Ranas y el río Tona presentaron mejoras en algunos meses debido a la disminución de los sub-índices de conductividad y alcalinidad.

ICOSUS

La quebrada Gualilo en los meses de agosto y septiembre presenta los valores más altos de este índice reflejados en un valor de índice de 1 y 0,87 debido al aumento de sólidos suspendidos totales, esto puede ser ocasionado por el arrastre de partículas del suelo erosionado debido a actividades tales como la ganadería en zonas de ladera y la minería.

ICOTRO

En algunos meses no se pudo calcular este índice por falta de parámetros. Sin embargo, el comportamiento del fósforo total a lo largo de los afluentes de monitoreo es mayor a 0,01 ppm, ya que presenta una fluctuación de entre 0,1 y 0,2 ppm, lo que indica que estos son eurotróficos con excepción del río Tona que presenta valores menores en algunos meses.

Eurotrófico se describe como el proceso natural o artificial de adición de nutrientes a los cuerpos de agua y nos indica contaminación.

Los valores del ICOTRO pueden estar influenciados por los fertilizantes a base de fósforo utilizados en los cultivos, al arrastre de material por lavado del suelo y las descargas de aguas residuales domésticas.

5. Conclusiones

- El Acueducto Metropolitano de Bucaramanga, ha adelantado análisis a los diferentes afluentes al embalse para conocer la calidad de las fuentes superficiales que llagan al embalse y de esta forma dirigir esfuerzos a dar soluciones a problemática que poseen y controlar el cumplimiento de la normativa con el fin de garantizar que el agua sea apta para la potabilización como lo viene siendo hasta el momento.
- La quebrada el Gualilo es la fuente que presenta mayores problemas en el cumplimiento de la normativa que rige a cada parámetro de calidad de agua, esto se debe a que a lo largo de su cauce recibe el agua de fuentes hídricas que se han visto afectadas por actividades agrícolas y ambientales, generando alteraciones en la calidad del recurso hídrico, requiriendo hacer un seguimiento a lo largo de este efluente para determinar la problemática que la está generando.
- La quebrada Monos se ha visto afectada por factores climatológicos, generando que por el cauce de este afluente no se tenga flujo.
- La problemática que se presenta en la calidad de agua de la quebrada Gualilo requiere de seguimiento a lo largo del cauce para identificar los focos que han venido generando la alteración de la calidad del cuerpo hídrico

6. Recomendaciones

- Realizar análisis de calidad de agua en los afluentes al embalse de Bucaramanga con un lapso de tiempo entre análisis menor a un mes, debido a que factores ambientales pueden originar alteraciones en las propiedades que no puedan ser registrados en los análisis.
- Monitorear los parámetros de sólidos suspendidos totales, DQO, coliformes totales, conductividad y alcalinidad especialmente en la Quebrada Gualilo y el Rio Tona debido a que estos son los que más están influenciando en la calidad de agua de estos afluentes.
- Continuar con los monitoreos a lo largo del tiempo, que permita hacer un seguimiento a los afluentes para conocer la variación en la calidad de agua.
- Continuar con estudios que permitan identificar a que se deben las alteraciones en las propiedades del agua y las posibles soluciones que ayuden a dirigir esfuerzos y recursos para dar pronta corrección a las problemáticas.
- Adelantar el análisis correspondiente al parámetro de oxígeno disuelto, debido a la importancia de este para el cálculo de los índices ICA e ICOMO.
- Se recomienda realizar toma de muestras en diferentes puntos a lo largo de cada afluente, para determinar donde se está generando la mayor afectación a las propiedades del agua e identificar las causas que lo están generando.

Citas Bibliográficas

- [1] Protocolo de monitoreo de la calidad de los recursos hídricos autoridad nacional del agua – DGCRH, Ministerio de Agricultura Autoridad Nacional del Agua de Perú.
- [2] E. Páez, C. Suárez, R. Villalba, M. Duarte, S. Rueda, N. Suárez, A. Barón, S. Oliveros, “Plan de ordenamiento y manejo ambiental subcuenca Río Suratá, Bucaramanga, 2002
- [3] amb. “Estudios y Diseños Fase 2 para el Proyecto de Regulación Embalse de Bucaramanga”: Memorando Técnico No.3, Bucaramanga, Mayo de 2008.
- [4] amb. “Estudios y Diseños Fase 2 para el Proyecto de Regulación Embalse de Bucaramanga”: Memorando Técnico No.3, Bucaramanga, mayo de 2008.
- [5] análisis de aguas, https://www.upct.es/~minaees/analisis_aguas.pdf [citado 25 de septiembre de 2017].
- [6] Estaciones de monitoreo para calidad, <http://www.hteltda.com/index.php/control-y-gestion-del-riesgo2/2013-05-30-20-19-54>, [citado 24 de Junio de 2017].

- [7] Camps Pare Rafael, Casillas Santillán Luis Alberto, Costal Dolors, Gilbert Ginesta Marc, Martin Escofet Carme, Pérez Mora Oscar, base de datos software libre, preminera edición , eureka media , sl,2005, barcelona españa, introducción, p.5
- [8] excel, <https://definicion.de/excel/> [citado 14 de agosto de 2017]
- [9] Diseños web, Macros, Excel y artículos, https://www.webandmacros.com/macro_excel_definicion.htm, [citado 12 de Mayo de 2017].
- [10] Dirección General de Salud Ambiental Ministerio de Salud, Reglamento de calidad para el consume humano, Lima Peru, 2011
- [11] T. Murphy y A. T. Lau, «Handling of atypical values,» ASTM International, USA, 2008.
- [12] M. A. Balmón, Guía Práctica de Análisis de Datos, España: Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, 2006.
- [13] I. A. Uribe, «Guía Metodológica para la Selección de Técnicas de Depuración de Datos,» Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 2010.

- [14] Estadística descriptiva, universo formulas, <http://www.universoformulas.com/estadistica/descriptiva>, [citado 12 de Septiembre de 2017]
- [15] S. Fernández, M. Cordero y A. Córdoba, Estadística Descriptiva, Madrid: ESIC, 2002.
- [16] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, Índice de calidad del agua en corrientes superficiales (ICA), http://www.ideam.gov.co/documents/24155/125494/363.21_HM_Indice_calidad_agua_3_FI.pdf/9d28de9c-8b53-470e-82ab-daca2d0b0031 [Citado 10 de septiembre de 2017].
- [17] A. Ramírez, R. Restrepo y G. Viña Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales

Referencias Bibliográficas

amb (2008) “Estudios y Diseños Fase 2 para el Proyecto de Regulación Embalse de Bucaramanga”: Memorando Técnico No.3, Bucaramanga.

amb. (2008) “Estudios y Diseños Fase 2 para el Proyecto de Regulación Embalse de Bucaramanga”: Memorando Técnico No.3, Bucaramanga.

Balmón M. A. (2006) Guía Práctica de Análisis de Datos, España: Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera.

Camps Pare R., Casillas Santillán L. A., Costal D., Gilbert Ginesta M., Martin E. C., Pérez Mora O., (2005) Base de datos software libre, preminera edición , eureka media , sl, Barcelona España, introducción.

Definición (s.f.) Excel, recuperado de <https://definicion.de/excel>.

Dirección General de Salud Ambiental Ministerio de Salud, (2011) Reglamento de calidad para el consume humano, Lima Peru.

Fernández S., Cordero M. y Córdoba A., (2002) Estadística Descriptiva, Madrid: ESIC.

Hteltda (2013) Estaciones de monitoreo para calidad, Recuperado de <http://www.hteltda.com/index.php/control-y-gestion-del-riesgo2/2013-05-30-20-19-54>.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, (s.f.) Índice de calidad del agua en corrientes superficiales (ICA), recuperado de http://www.ideam.gov.co/documents/24155/125494/363.21_HM_Indice_calidad_agua_3_FI.pdf/9d28de9c-8b53-470e-82ab-daca2d0b0031.

Ministerio de Agricultura Autoridad Nacional del Agua de Perú. (s.f.) Protocolo de monitoreo de la calidad de los recursos hídricos autoridad nacional del agua – DGCRH.

Murphy T. & Lau A. T. (2008) «Handling of atypical values,» ASTM International, USA.

Páez E., Suárez C., Villalba R., Duarte M., Rueda S., Suárez N., Barón A., Oliveros S., (2002) “Plan de ordenamiento y manejo ambiental subcuenca Río Suratá, Bucaramanga.

Ramírez A., Restrepo R. & Viña G. (s.f.) Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales

Universo formulas (s.f.) Estadística descriptiva, Recuperado de <http://www.universoformulas.com/estadistica/descriptiva>

UPCT (s.f.) Análisis de aguas, recuperado de https://www.upct.es/~minaees/analisis_aguas.pdf

Uribe I. A. (2010) Guía Metodológica para la Selección de Técnicas de Depuración de Datos Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

Web and macros (s.f.) Diseños web, Macros, Excel y artículos, recuperado de https://www.webandmacros.com/macro_excel_definicion.htm